

## **2009 오키나와 Deep Mixing 심포지엄 및 공동연구 International Symposium and Collaborative Study on Deep Cement Mixing, Okinawa 2009**

정경환<sup>1)</sup>, Gyeong-Hwan Jeong, 신민식<sup>2)</sup>, Min-Shik Shin, 한경태<sup>3)</sup>, Gyeong-Tae Han, 이정화<sup>4)</sup>, Jung-Hwa Lee, 김재환<sup>5)</sup>, Jae-Hwan Kim

- 1) (주)동아지질 대표이사, C.E.O / Ph.D, Dong-A Geological Engineering Co., Ltd
- 2) (주)동아지질 설계부 부장, General Manager, Eng. Dept., Dong-A Geological Engineering Co., Ltd
- 3) (주)동아지질 설계부 차장, Deputy General Manager, Eng. Dept., Dong-A Geological Eng. Co., Ltd
- 4) (주)동아지질 지반부 과장, Manager, Eng. Dept., Dong-A Geological Eng. Co., Ltd
- 5) (주)동아지질 설계부 대리, Assistant Manager, Eng. Dept., Dong-A Geological Eng. Co., Ltd

**SYNOPSIS** : Quality Assurance of Deep Mixing to fulfill the requirements of geotechnical design cannot be achieved only by the process control During production conducted by the deep mixing contractor but it should involve relevant activities that are carried out prior to, during and after the construction by all the parties involved in a deep mixing project. The requirement is different for different application, and hence, QA/QC method/procedure and verification technique may be different for different application. In order to maintain the high quality of deep mixing work in the global market, it is necessary to conduct a research project, such as investigation of illustrations, the variety of existing QA/QC methods/procedures, the correlation between the outcomes of different QA/QC methods. In these reason, it has been held the international meeting to discuss them, in that kind of activities in 2009 it will be held Symposium. Also Collaborative study for QA/QC is on goin, and conduction by all participated members. The subject for collaborative study are, task 1 : investigation of laboratory tests procedures, task 2 : comparing of different laboratory tests procedures, task 3 : QA/QC method/procedures, task 4 : integrated Task1 ~task 3. The discussion of the results in all task will be held in the Symposium separately. In this paper, it was presented four tasks. Also the results in task 1 and 2 conducting domestically until now, such as investigation of laboratory test procedures, effect on the unconfined compressive strength by aging temperature and by delayed time.

**Key words** : Quality Assurance, Quality Control, Verification technique, Collaborative Study

### **1. 서론**

지반공학적 설계 시방서를 만족하기 위한 DCM 품질은 시공사에 의한 품질관리로만 획득하기 어려운 실정이며, DCM에 관련된 모든 담당자들에 의한 사전, 시공중, 시공후에 대한 전반적인 활동이 필요로 한다. 시방은 적용현장마다 다르기 때문에 품질에 대한 절차 및 방법도 현장에 따라 다르다. 고품질의 DCM을 유지하기 위해서는 현장별 자료를 수집, 방법/절차에 대한 확인, 서로 다른 방법/절차에 대한 비교 및 상호관계를 설정할 필요가 있다.

석회나 시멘트를 안정재로 사용하는 DCM공법은 일본과 북유럽에서 1975년 독자적으로 개발하였다. 지난 10년 동안 일련의 국제적인 아주 특별한 토의 및 심포지엄등의 모임을 통해 장비, 재료 특성, 설계방법등의 지속적인 자료를 축적하였다. 그 첫 번째 모임은 Japanese Geotechnical Society and ISSMGE TC-17의 공동 주최로 일본 Tokyo에서 개최하였다. 이를 기점으로 하여 1999년 Stockholm,

2000년 Helsinki, 2002년 Tokyo, 2003년 New Orleans, 2005년 Stockholm으로 이어졌다. 그 와중에 2000년에는 이와는 별도로 CEN TC 288/WG-10에서는 DCM공법의 시공 및 관리에 대한 규정을 만들기 시작하였다. WG-10은 총 9개의 유럽국가로 구성되었지만, 일본과 미국의 전문가를 합류시켜 규정을 완성하였다. 이러한 움직임을 통해 지금의 DCM공법은 정보의 공유화, 공동연구, 심포지엄 및 토의 등의 모임이 일반화되었고, 2009년 일본 오키나와에서는 국제적인 심포지엄이 개최될 예정이다. 또한 이와 별도로 DCM품질에 대한 공동연구 과업을 각 나라를 통해 수행하고 있으며, 그 공동연구 과제는 과업1 실내배합에 대한 조사, 과업2 서로 다른 실내배합시험 방법에 대한 비교, 과업3 품질관리 방법/절차에 대한 조사, 과업4 과업성과에 대한 종합이다. 각 나라에서 수행된 공동연구 과업수행 결과를 토대로 2009년 심포지엄과 별도로 Working Group에서 발표 및 토의가 진행될 예정이다.

## 2. 공동연구

### 2.1 과업1 - 실내배합시험방법에 대한 조사

비교할 적용사례가 없다면 실내배합시험 결과를 통한 지반공학적 설계용 정수를 결정한다. 초안설계 역시 실내배합시험결과에 기초를 둔다. 실내배합시험은 시공전 품질보증의 첫 번째 단계이다. 배합정도, 시료준비방법, 배합시험방법 상에서의 양생조건 등은 시험결과에 많은 차이를 야기 시킨다는 것은 잘 알려져 있다. 이 과업은 각 국가별 배합시험 방법에 대한 자료를 조사한다.

### 2.2 과업2 - 서로 다른 실내배합시험 방법에 대한 비교

서로 다른 나라 또는 기업 등에서 획득된 실내배합시험 결과에 대한 일반적인 기틀을 마련하기위해서 서로 다른 실내배합시험 방법으로 시험된 일축압축강도 항목의 예상된 차이를 아는 것이 필요하다. 과업2는 실내배합시험 결과를 비교하는 것이다.

과업2는 시험횟수가 너무 많으므로 참여자에게 과업2에서 많은 부담을 줄이기 위해 시험에 관한 경우의 수를 가능한 최소화하였다. 참여자는 과업1에서 획득한 방법 중 최소 2개의 방법으로 고화재 및 적용 시료에 대한 일련의 실내배합시험을 수행하도록 요구하였다. 실제 경우의 수는 개개의 참여자와 나중에 의논할 것이며 시험결과를 비교 및 분석을 위해 과업2 참여자와 모두 공유 할 것이다. 만약 추가로 조사되어야 할 사항이 세부적으로 발췌된다면 자발적 참여자에 의해 실내배합시험이 더 진행될 것이다.

### 2.3 과업3 - QA(품질보증)/QC(품질관리) 방법/절차에 관한 국제적 조사

과업3은 QA/QC와 확인절차에 대한 다양성 조사이다.

1) 시공 2) 계약조건(contractual scheme) 3) 품질보증 및 관리 절차에 대한 전반적인 흐름 4) 흐름상에 각 작업 목록에 대한 시방 및 가이드라인의 유용성 5) 데이터 베이스의 유용성 6) 각 작업에 대한 책임 구분 7) 시방기준 8) 계약 불이행인 경우의 절차 9) 확인방법의 기술과 제한사항 10) 상이한 확인 방법에 대한 상호관계의 유용성 11) 연구의 필요성

### 2.4 과업4 - 과업성과에 대한 종합

각 과업 참여자에 의해 검토된 초안일지라도 주연구자(Principal Investigators)에 의해 성과물 보고서가 준비될 것이다. 성과물 보고서는 2009년 5월 일본 오키나와에서 개최될 International Symposium on Deep Mixing & Admixture Stabilization에 발표될 예정이다. 차후 단계에서의 연구를 위한 과업을 설정하기 위해 최소 하나 이상의 기술 및 토의가 심포지엄에서 진행될 것이다.

## 2.5 종합현황

과업1에 대한 조사는 완료하였으며 현재 2008년 5월까지 과업2에 대한 시험을 진행 중에 있다. 본 연구진은 현재 과업1과 과업2에 참여중이다.

표 1 공동연구 현황

구 분	수행일정	참여현황	내용
과업 1	2007.5~2007.9	국내(동아지질)외 25팀	시료채취방법, 실내시험기준, 혼합방법, 양생방법, 혼합기기
과업 2	2007.9~2008.4	국내(동아지질)외 6팀	몰딩방법, 양생온도 및 지연시간이 강도에 미치는 영향,
과업 3	2008.1~2008.4		품질관리 방법에 대한 연구
과업 4	2008.5~2008.6		과업1 ~ 과업 3의 종합 및 토의
추가자료	2008.7~2008.12		과업1~과업3의 추가 자료조사
보고서	2009.1		과업1~과업4에대한 보고서 작성
심포지엄	2009.5.19~2009.5.21		일본 오키나와에서 심포지엄 및 토의

## 3. 과업별 결과

### 3.1 과업 1(완료)

준비 위원회에서 제시한 과업 1에 대한 요약서를 참조하면, 과업 1 조사에 대해 많은 보고서가 제출되었고 현재, 13개의 일본 심층혼합처리 시공업체를 포함한 국제적으로 경험있는 전문가들로부터 26개의 보고서가 축적되었으며, 추가적인 보고서가 수집되고 있다.

지반공학적으로나 설계공정에서 효과적인 실내배합시험 결과를 이용하고 품질관리를 위해서, 다음 과정들이 주의 깊게 수행되어야 한다.

1. 실내배합시험에서의 원지반 시료의 그룹화
2. 실내배합시험에서의 원지반 시료와 고화재의 보관 및 준비
3. 원지반 시료와 고화재의 혼합
4. 몰딩
5. 양생
6. 시험
7. 보고

1번 항목이 꽤 흥미로운데 bench scale test에 있어서 가장 중요한 논점의 하나는, 프로젝트 책임자 혹은 지반공학적인 컨설턴트에게 책임이 있다는 것이다. 실용화된 시험과정이 규격화되어있지 않은 여러 나라에서는, 고화재 종류와 양생조건과 같은 실내시험 조건이 프로젝트 책임자(의뢰자)에 의해 규정된다. 흙의 반응에 관한 경험과 지식의 대부분이 심층혼합에 관해 전문적인 시공업체들에 의해 다루어진다고 가정한다면 이러한 현재 상황은 좀 이상한 면이 있다. 시공계획(계약상)에 영향을 받는 현장 확인 시험과정과 시공품질관리를 위한 조사는 과업3에서 토의될 예정이다.

2~5번 항목에서의 차이점은 과업 1 조사에서의 주된 관심사이고, 과업2의 시험 프로그램에서 더 검토될 예정으로 진행 중에 있다.

본 연구진도 국내에서 일반적으로 실시하고 있는 실내배합 시험방법을 기준으로 조사에 참여 하였다.

### 3.1.1 시료 보관

몇 가지 시험과정에서는 시료보관 중 물리적 화학적 변화를 피할 수 있도록 시료를 보관하는 것을 권장하고 있으며, 이것은 실내배합시험을 수행하기 전 중요한 문제이다. 그러나 대부분의 답변에서는 보관 상태를 언급하지 않았다.

### 3.1.2 혼합 에너지

여러 종류의 시험절차에 상관없이 최종목표는 양적이 아닌 질적인 즉 ‘일관적’이고 ‘균질한’ 표현으로 정의된다. 시각적인 검사는 흙-고화재 혼합물의 품질을 확인하는 방법뿐이다.

품질을 보증하기 위해서, 사전에 흙을 분리하고 균질하게 하는데 몇 가지 절차들이 권장된다. 대부분은 혼합시간을 2~10분으로 권장한다(표준은 아님). 북유럽 국가에서는 이토(peat)의 경우 조직의 파괴를 막기 위해 짧은 혼합시간을 권장한다. 본 연구진의 혼합시간은 10분을 표준으로 하였다.

### 3.1.3 몰딩 과정

몰딩은 대부분 일축압축시험을 하기 위해 준비한다. 균질성과 재현성이 주 관심사이며, 몰딩시의 흙-시멘트 혼합물의 연경도(액성 → 소성 → 반고체)에 좌우된다.

혼합물을 몰드 안에 넣고 두드리는 기술은 혼합물의 농도가 액성 상태에 근접한 소성상태, 액성일 경우는 습윤 심층혼합법에 적용된다. 하지만 습윤 방법임에도 불구하고 몰드에 넣고 두드리는 것은 원지반의 액성지수가 작거나, 고화재 함유량이 크거나, 혹은 혼합 후 소요되는 시간이 일반적인 경우보다 길 경우에는 실용적이지 못하다.

건조 방법에서는 흙-고화재 혼합물이 액성상태에 있거나 혹은 액성상태에 가까울 경우 몰드에 넣고 두드릴 수 있으며 이것은 일본 규정에서 일반적인 경우이다. 그러나 아주 가끔은 혼합물을 몰드에 여러 층으로 붓고 두드리고/다지고/정적 혹은 동적하중으로 압축한다. 어떤 시험과정에서는 정적 압력의 크기(100kPa)와 정적 압축의 지속시간을 규정한다. 다양한 다짐기술 결과로 다양한 밀도(밀도의 재현성 문제)의 몰드가 만들어지고, 이것은 강도에 영향을 미친다.

본 연구진은 몰드에 3층으로 구분하여 시료를 채워 넣는 방식으로 각 층별로 개량토를 채우고 진동대를 이용하여 100회 낙하시키는 방법을 통해 공기 제거 및 다짐을 진행하였다.

### 3.1.4 양생조건(습도)

대부분의 시험과정에서는 밀봉된 시료의 양생은 습윤 양생기나 수중양생으로 규정한다. 단, 직접 물에 담그는 것은 특정한 경우에 한한다. 본 연구진은 개량토를 밀봉한 상태에서 95%의 습도를 유지시키기 위해 항온항습기를 이용하였다.

### 3.1.5 양생조건(온도)

대부분의 시험과정들은  $20.0\pm 2^{\circ}\text{C}$ ,  $20.0\pm 3^{\circ}\text{C}$  혹은  $23.0\pm 3^{\circ}\text{C}$ 도를 권장한다. 허용되는 범위에서, 가장 낮은 온도는  $17.0^{\circ}\text{C}$ 이고 가장 높은 온도는  $26.0^{\circ}\text{C}$ 이다. 이러한 차이는 화학적 반응속도 비율을 두 배로 만들기에 충분하다. 본 연구진은 특수한 경우를 제외하고 대부분  $20.0\pm 3^{\circ}\text{C}$ 의 온도를 표준으로 하였다.

Swedish Deep Stabilization Research Center와 같은 추운 지역에서는 섭씨  $7.0^{\circ}\text{C}$ 의 일정한 온도를

권장한다. 반면에 핀란드의 어떤 조직에서는 처음 이틀에서 2주간 동안은 20.0℃보다 낮고, 그 이후에는 7.0~8.0℃보다 낮게 유지하는 것을 선호한다. 드물기는 하지만, 시료를 20.0℃ 에어컨실에서 양생하기도 한다. 화학 반응의 속도는 시간과 온도의 결합된 영향에 좌우된다는 것은 잘 알려진 사실이며, 높은 온도는 강도 발현을 빠르게 한다.

### 3.1.6 고화재 수화작용의 시작으로부터 몰딩을 완료하기까지의 지속 시간

심층혼합처리공법의 습윤방법에서 지속 시간은 혼합시간을 포함해 슬러리 준비로부터 몰딩 완료까지에 해당된다. 건조방법에서는 지속시간은 흙과 고화재를 섞을 때부터 몰딩 완료시간까지에 해당한다. 흙/고화재 혼합물의 연경도는 시간에 따라 변하고 몰딩하는 동안 다짐의 용이함에 영향을 준다. 연경도의 변화가 크면 한 배치의 동일 시험조건에서의 시료에서도 밀도 차이가 날수 있다.

시간에 대한 엄격한 규정이 없기 때문에, 과업 1의 계획서에서는 흙과 고화재의 혼합으로부터 몰딩 완료까지의 시간이 30, 45, 60분보다 작다는 임의적인 답변을 하고 있고, 마지막 옵션은 시험시료와 개인 성향에 좌우된다고 답변하고 있다. 어떤 계획서에서는 15분보다 작다고 했는데 이것은 의문이 있다. 대부분은 30분이었고, 두개의 계획서는 45분이었다. 그러나 5개 계획서 이상에서는 시험시료와 개인성향에 좌우된다고 선택하였다. 본 연구진은 배합에서 몰딩이 완료될 때까지의 시간은 45분미만으로 하였다.

### 3.2 과업 2(진행중)

과업 2에 대한 시험은 현재 진행중이며 비용은 참여자의 자발적인 참여로 이루어지는 이유로 국내를 포함한 6개의 팀이 참여하고 있다. 국내에서 사용된 시료는 인천신항에서 채취한 점토 시료를 사용하였으며 사용시료에 대한 특성 및 시험항목에 대한 요약은 표 2, 표 3에 나타내었다. 시험의 오차를 최소화 시키고 신뢰성을 높이기 위해서 시료 수를 5개로 하였다.

표 2 시험에 사용된 시료의 특성

흙의 분류	CL	No.200체 통과(%)	64.0
자갈(%)	0.0	함수비(%)	40.76
모래(%)	36.0	액성한계(%)	37.4
실트(%)	39.0	소성한계(%)	20.0
점토(%)	25.0	소성지수	17.4

표 3 시험항목에 대한 요약

과업 2	시험항목	내 용
몰딩방법에 대한 영향	봉다짐, 정적 및 동적다짐, 낙하	미참여
양생온도에 대한 영향	시료	점토(CL)
	시멘트	보통포틀랜드
	시멘트량 및 물시멘트비	150/300kg/m <sup>3</sup> , 1:1
	양생온도	7, 20, 40℃
	재령	7, 14, 28일
	시료수	5개
지연시간에 대한 영향	시료	점토(CL)
	시멘트	보통포틀랜드
	양생온도	20℃
	재령	7, 14, 28일
	지연시간1 (배합후 개량토의 mixing 방치)	0, 10, 20, 60분
	지연시간2 (지연시간 1후의 개량토의 방치)	0분

### 3.2.1 온도에 대한 영향

현재까지 국내에서 진행된 시험은 양생온도 20℃일 경우에 재령 28일까지 모두 완료하였으며, 양생온도 40℃일 경우는 재령 14일까지 완료한 상태이다. 양생온도 7℃에 대한 시험은 차후에 진행될 예정이다. 시멘트량별 양생온도에 대한 영향은 결과는 그림 1에 나타내었다. 양생온도가 높고 시멘트량이 많이 첨가될수록 일축압축강도는 증가하는 것으로 나타났다. 양생온도가 시험결과에 미치는 영향에 대해서는 전체 시험이 완료되면 추가로 정리하여 발표할 계획이다.

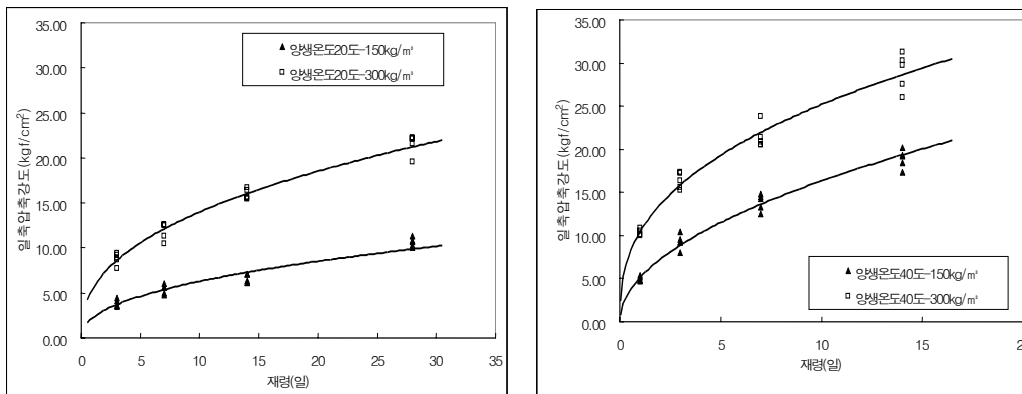


그림 1. 사용 시멘트에 대한 양생온도의 영향

### 3.2.2 지연시간에 대한 영향

원지반 점토에 시멘트 안정제를 첨가하여 10분간 혼합된 개량토를 일축압축강도 시험용 몰드에 성형 전에 방치시간이 일축압축강도에 미치는 영향을 조사하고자 한다. 개량토를 제작 후 mixing을 유지한 상태에서 0~60분 동안 방치 후 각각의 지연시간이 일축압축강도에 미치는 영향을 조사하였고 그림 2에 나타내었다. 현재까지의 시험결과에 의하면 방치시간에 대한 영향은 뚜렷한 차이가 없는 것으로 나타났다.

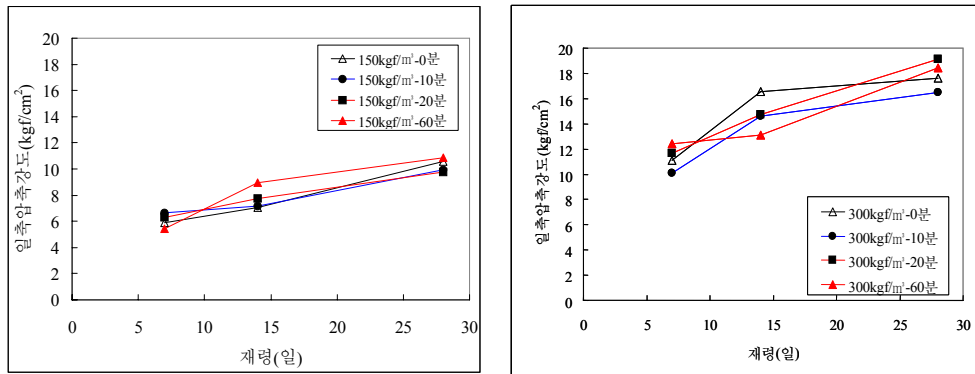


그림 2 지연시간(mixing 유지시간, 0~60분)이 강도에 미치는 영향

#### 4. 향후과제

최근의 DCM공법은 정보의 공유화, 공동연구, 심포지엄 및 토의 등의 모임이 일반화 되어있고, 이러한 활동의 일환으로 2009년 일본 오키나와에서 국제적인 심포지엄이 개최될 예정이다. 또한 이와 별도로 DCM품질에 대한 공동연구 과업을 각 나라의 연구진을 통해 수행하고 있으며 그 공동연구 과제는, 과업1 실내배합에 대한 조사, 과업2 서로 다른 실내배합시험 방법에 대한 비교, 과업3 품질관리 방법/절차에 대한 조사, 과업4 과업성파에 대한 종합이다. 각 나라에서 수행된 공동연구 과업수행 결과를 토대로 2009년 심포지엄과 별도로 발표 및 토의가 진행될 예정이며 국내에서는 본 연구진이 과업 1, 과업 2에 참여중이며 이 연구를 기점으로 DCM에 대한 향후 과제는 다음과 같다.

1. 국제적인 DCM의 공동연구에 참여하여 국내의 현황을 파악하고 진일보 할 수 있는 계기로 삼는다.
2. 국제적인 DCM 자료를 수집하고 국내의 DCM방법과의 비교(시험방법 및 절차, 시행 책임, 담당, 품질관리 시스템 등)하여 국제화(표준화)작업에 참여한다.
3. 국제적인 DCM 정보의 공유화를 위해 국내의 유관기관이나 관심있는 분들의 공동연구 및 심포지엄에 적극적인 참여가 필요하다.

#### 참고문헌

1. Masaaki Terashi & Masaki Kitazume, 2007 "Research Propoasl, International Collaborative Study(QA/QC for Deep Mixing)"
2. Masaaki Terashi & Masaki Kitazume, 2007 "Quick Summary of Task 1 Survey"
3. Jesse Jacobson 2002, "Factors Affecting Strength Gain in Lime-Cement Columns and Development of a Laboratory Testiong Procedure"
4. "International Conference on Deep Mixing Best Practice and Recent Advance", Deep Mixing '05, Stockholm 2005